

Effect of soil block thickness modeling on soil-structure interaction in dynamic responses of 15-storey high-rise buildings

GholamReza Havaei^{1*}, Seyyed Majid Izadparast²

¹- Professor assistant, dept. civil engineering, Amirkabir University, Tehran, Iran

²- M.sc Student of geotechnical engineering, Amirkabir University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Due to the population growth in large cities and the growth of cities vertically, to facilitate serviceability and provide low-cost and easier access to the resources required by the people such as water, electricity, gas, etc., Engineers are forced to build high-rise buildings on undesirable soils in Popular cities. Due to the seismic condition of Iran and the variation in soil thickness in different parts of the cities, it is important to know that in which conditions the structure experiences the most damage. In this study, a nonlinear three-dimensional model of soil-structure interaction was investigated to evaluate the effect of soil-structure interaction in tall structures with the finite element method with Abacus software in the time domain. The Thickness effect of considering soil-structure interaction for 4 different thicknesses modeled by the Drucker-Prager method which considers the soil hardening properties under the effect of the Loma Prieta earthquake. Infinite boundaries have been used to absorb earthquake waves. The research results show that changes in thickness have significant effects on the analysis results. In this study, for each model, lateral displacement outputs, acceleration, subsidence, base shear, and stress contours are investigated.

ARTICLE INFO

Receive Date:

Revise Date:

Accept Date:

Keywords: *Soil- structure interaction
ABAQUS
Finite Element Method
Soft Soil
Thikness effect*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.255589.2282>

*Corresponding author: GholamReza Havaei
Email address: Havaei@aut.ac.ir

اثر مدلسازی ضخامت بلوک خاک در اندرکنش خاک و سازه در پاسخ های دینامیکی سازه های بلند مرتبه ۱۵ طبقه

غلامرضا هوئی^{۱*}، سید مجید ایزدپرست^۲

۱- استادیار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

باتوجه به رشد جمعیت در شهرهای بزرگ و رشد شهرها به صورت عمودی، جهت سهولت در خدمت رسانی و دسترسی کم هزینه و راحت تر به منابع مورد نیاز شهری، مهندسان ناچار به ساخت سازه های بلند مرتبه روی خاک های نامطلوب هستند. باتوجه به شرایط لرزه خیزی کشور ایران و تنوع در ضخامت خاک در نقاط مختلف شهری، این مساله حائز اهمیت است که سازه مورد نظر تحت چه شرایطی بیشترین آسیب را متحمل می شود. در این مطالعه یک مدل سه بعدی غیر خطی از اندرکنش خاک- سازه در سازه های بلندمرتبه ۱۵ طبقه با روش المان محدود به وسیله نرم افزار آباکوس در حوزه زمان برای ارزیابی اثر اندرکنش خاک- سازه بررسی شده است. اثر ضخامت برای لحاظ کردن اندرکنش خاک- سازه برای ضخامت های: ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ متر، به روش مدل سازی دراکر- پراگر، تحت اثر زلزله لوماپریتا که زلزله ای با محتوای فرکانسی کم به حساب می آید، محاسبه شده است. برای جذب امواج ناشی از زلزله از مرزهای نیمه بی- نهایت استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می دهد که تغییرات در ضخامت، باعث کاهش در پاسخ های دینامیکی سازه میشوند که به نظر میرسد دلیل این مساله، فاصله گرفتن فرکانس خاک از فرکانس سازه و یا به عبارتی، کاهش ضریب بزرگنمایی زلزله باشد. در این مطالعه برای هر مدل، خروجی های جابجایی جانبی، شتاب، نشست، برش پایه و کانتورهای تنش مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: اندرکنش خاک و سازه، آباکوس، روش المان محدود، خاک نرم، اثر ضخامت

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
10.22065/jsce.2021.255589.2282	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.255589.2282	۱۴۰۰/۱۰/۰۱	۱۴۰۰/۱۰/۰۱	۱۴۰۰/۹/۲۲	۱۴۰۰/۹/۱۷	۱۴۰۰/۸/۱۳
غلامرضا هوئی havaei@aut.ac.ir			*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:		

۱- مقدمه

مساله اندرکنش خاک و سازه در تجزیه و تحلیل لرزه‌ای و طراحی سازه‌ها به‌طور فزاینده‌ای اهمیت پیدا کرده است، زیرا ساختن سازه در مکان‌هایی با شرایط ژئوتکنیکی نامطلوب در مناطق فعال لرزه‌ای، امری اجتناب ناپذیر است. به‌تازگی، یک فاجعه در ۱۲ ژانویه ۲۰۱۰ در هائیتی رخ داد که منجر به کشته شدن بیش از ۲۰۰,۰۰۰ تن و همچنین بی‌خانمان شدن حدود ۳ میلیون نفر شد. کمبود زمین، مهندسان را ناچار به ساختن سازه اصلی بر روی خاک نرم می‌کند. بنابراین، نیاز به طراحی سازه ایمن در برابر بلایای طبیعی مانند زلزله پر هزینه نیست. اثرات اندرکنش دینامیکی خاک و سازه تحت بارهای شدید ناشی از زمین لرزه‌های شدید برای بسیاری از انواع سازه قابل توجه است و باید به‌طور دقیق در طرح لحاظ گردد.

اندرکنش خاک و سازه (SSI) شامل مجموعه‌ای از مکانیسم‌ها است که انعطاف‌پذیری تکیه‌گاه فونداسیون را در زیر یک سازه معین حساب می‌کند و منجر به تغییر حرکت زمین در مجاورت فونداسیون در مقایسه با میدان آزاد می‌شود. تحریک لرزه‌ای که در سازه‌ها تجربه می‌شود تابعی از ویژگی‌های زلزله، اثرات مسیر حرکت، اثرات محلی سایت و اثرات اندرکنش خاک و سازه است. نتیجه سه مورد اول را می‌توان تحت عنوان حرکت آزاد زمین خلاصه کرد. پاسخ سازه به حرکت میدان آزاد، تحت تأثیر SSI است. مخصوصاً شتاب در سازه تحت تأثیر انعطاف‌پذیری تکیه‌گاه فونداسیون و اختلاف بین تکیه‌گاه فونداسیون و حرکات میدان آزاد است. در نتیجه، ارزیابی دقیق نیروهای اینرسی و جابجایی در سازه‌ها نیاز به رفتار منطقی اثرات SSI دارد. مطالعات گزتا س و میلوناکیس درخصوص زمین لرزه مکزیکوسیتی [۱] اهمیت خواص مکان خاک در پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها را به وضوح نشان می‌دهد. این زمین لرزه‌ها نشان داد که حرکات سنگ می‌تواند به‌طور قابل توجهی در پایه سازه تشدید شود؛ بنابراین، یک انگیزه مهندسی قوی برای تحلیل پاسخ دینامیکی وابسته به مکان برای بسیاری از فونداسیون‌ها برای تعیین حرکات زلزله در میدان آزاد وجود دارد. تعیین واقع بینانه حرکت واقعی سطح زمین وابسته به سایت در پایه سازه می‌تواند مهمترین مرحله در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها باشد. در طول دهه‌های اخیر، اهمیت اندرکنش دینامیکی سازه-خاک برای سازه‌هایی که بر روی خاک‌های نرم بنا شده است، به خوبی شناخته شده است؛ در این خصوص گزتا س و میلوناکیس [۱] نشان داد که برخی سازه‌های ساخته شده بر روی خاک‌های نرم نسبت به SSI آسیب‌پذیرتر هستند. به‌طور کلی وقتی سرعت موج برشی متوسط خاک تکیه‌گاه کمتر از ۶۰۰ متر بر ثانیه باشد، اثرات اندرکنش خاک-سازه بر پاسخ لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای، به‌ویژه برای قاب‌های ساختمانی قابل توجه است [۲]. ولف و دیک [۳] اثرات اندرکنش خاک-سازه بر پاسخ لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای را به‌طور خلاصه به شرح ذیل بیان کرده است:

۱. افزایش در پیروید طبیعی و میرایی سیستم

۲. افزایش جابجایی‌های جانبی سازه

۳. تغییر در نیروی برشی پایه نسبت به محتوای فرکانس حرکت ورودی و خصوصیات دینامیکی خاک و سازه.

دینامیک سازه‌ها و دینامیک خاک، رفتار وابسته به زمان سازه‌ها و خاک را تحت تأثیر بارهای خارجی تعریف می‌کنند. این فرآیند، که در آن پاسخ خاک بر حرکت سازه تأثیر می‌گذارد و واکنش سازه بر حرکت خاک تأثیر می‌گذارد، به عنوان اندرکنش خاک-سازه (SSI) تعریف می‌شود [۳ و ۴]. تجزیه و تحلیل لرزه‌ای ساختمان‌ها و سایر سازه‌های مهندسی غالباً بر اساس این فرض استوار است که فونداسیون با یک نیم فضای سخت در معرض شتاب افقی و یک طرفه قرار دارد. چنین مدلی نمایانگر کافی از وضعیت فیزیکی در صورت وجود سازه‌هایی با اندازه متوسط است که در سنگ بکر بنا شده‌اند. در چنین شرایطی، اثبات شده است که حرکت میدان آزاد در سطح بستر، یعنی حرکتی که بدون ساختمان رخ می‌دهد، به سختی تحت تأثیر حضور ساختمان است. این فرضیه هنگامی که سازه بر روی رسوبات خاک نرم ایجاد می‌شود اعتبار خود را از دست می‌دهد؛ زیرا حرکت در سطح خاک، بدون ساختمان، ممکن است با حضور سازه به‌طور قابل توجهی تغییر یابد. سازه‌ای که در خاک نرم قرار دارد، یعنی حالت‌های ارتعاش و فرکانس‌های اصلاح شده توسط انعطاف‌پذیری تکیه‌گاه‌ها ویژگی‌های

دینامیکی خود را دارد [۳]. ولف [۵] مجموعه‌ای از ضرایب سختی پایه پارامترهای مدل مخروطی را ایجاد کرد، که در کارهای عملی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. چوپرا و گوتیرس [۶] خاطر نشان کردند که روش‌های عددی مناسب‌ترین و دقیق‌ترین روش برای تجزیه و تحلیل اندرکنش خاک-سازه هستند. باتوجه به مرجع [۷]، تکنیک‌های عددی می‌توانند اثرات غیرخطی بودن مواد (رفتار غیر خطی تنش-کرنش)، شرایط ناهمگن ماده، غیر ایزوتروپ بودن تنش، میرایی تشعشعی و همچنین تغییر هندسه محیط خاک تکیه‌گاه در تجزیه و تحلیل اندرکنش خاک و سازه، با توجه به ماهیت خاص از هر مساله خاصی را در برگیرند. به‌طور کلی، برای تعیین اثرات اندرکنش سازه-خاک با استفاده از روش‌های عددی، از دو رویکرد زیر استفاده می‌شود:

روش زیر سازه: در این روش اثرات زلزله روی خاک جداگانه محاسبه می‌شود و با استفاده از اصل اجتماع اثر قوا به سازه منتقل می‌شود. مزیت اصلی رویکرد زیر سازه انعطاف‌پذیری آن است [۶]. از آن‌جا که هر مرحله از سایرین مستقل است، تحلیل‌گر می‌تواند روی مهم‌ترین جنبه‌های مسئله متمرکز کند. با این حال، از آن‌جا که این روش مبتنی بر اصل اجتماع اثر قوا، که فقط برای رفتار خطی خاک و سازه دقیق است، تقریب غیرخطی بودن خاک با استفاده از آنالیزهای موج تکراری، اجازه می‌دهد تا از اصل اجتماع اثر قوای سیستم‌های نسبتاً غیرخطی استفاده شود [۸]. بنابراین، در نظر گرفتن دقیق رفتار غیرخطی خاک در تحلیل دینامیکی ممکن است با استفاده از این تکنیک به راحتی قابل دست‌یابی نباشد. روش مستقیم: در روش مستقیم، خاک و سازه همزمان در مدل ریاضی در نظر گرفته می‌شود و در یک مرحله تجزیه و تحلیل می‌شوند. در این خصوص Carr [۹] معتقد است که مزیت این روش در واقع تطبیق‌پذیری آن برای مقابله با هندسه‌های پیچیده و خصوصیات مواد است.

بخش مهمی از انرژی لرزش سیستم سازه-خاک ممکن است یا با تشعشع امواج، از سیستم ارتعاش فونداسیون به داخل خاک و یا با استفاده از میرایی هیسترتیک مواد خاک، از بین رود. در نتیجه سیستم سازه-خاک دارای پریود ارتعاشی طولانی‌تر از همتای پایه ثابت است. علاوه بر این، مرجع [۱۰] بیان می‌کند که نقش اندرکنش خاک و سازه ممکن است برای سیستم سازه‌ای تحت بارگذاری لرزه‌ای مفید باشد زیرا این پریود جانبی فونداسیون را طولانی‌تر می‌کند و منجر به میرایی بالاتر سیستم می‌شود. مطالعات موردی و مشاهدات پس از لرزه‌نگاری نشان می‌دهد که SSI می‌تواند مضر و غفلت از تاثیر آن می‌تواند به طراحی نا امن، به‌ویژه برای سازه‌هایی که بر روی خاک نرم آبرفتی ایجاد شده‌اند، منجر شود [۱ و ۴].

ولتسوس و پراساد [۱۱] نشان دادند که اثرات اندرکنش سازه-خاک برای سازه‌های با پریود متوسط و طولانی، زمانی که پریود سایت بزرگ باشد قابل توجه است. طیف‌های زلزله ثبت شده اخیر نشان می‌دهد که SSI به یک عامل مهم برای شتاب حداکثر در یک پریود بیشتر از ۱ ثانیه تبدیل می‌شود. اگر پریود اساسی به دلیل SSI طولانی‌تر شود، این پاسخ را به جای کاهش، افزایش می‌دهد که برخلاف طیف‌های طراحی معمولی است. گزتاس و میلوناکیس [۱] سه مورد از زمین لرزه‌ها، یعنی بخارست ۱۹۷۷، مکزیکوسیتی ۱۹۸۵ و کوبه ۱۹۹۵ که SSI باعث افزایش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها با وجود افزایش احتمالی میرایی شد را گزارش کردند. آن‌ها گزارش کردند که در زلزله مکزیک فقط ساختمان‌های ۱۰ الی ۱۲ طبقه‌ای که بر روی خاک نرم بنا شده بودند تخریب شدند؛ شایان ذکر است که به دلیل SSI، پریود آن‌ها با فرض یک سازه پایه ثابت، از حدود ۱ ثانیه به حدود ۲ ثانیه افزایش یافت.

هدف پژوهش Stewart و Seed در مرجع [۴]، تدوین روشی ساده برای در نظر گرفتن تأثیر SSI در تعیین فرکانس اساسی ساختمان‌ها است. تجزیه و تحلیل‌های انجام شده توسط Stewart و Seed [۴] برای هر دو ساختمان یک طبقه و چند طبقه برای شرایط مختلف ژئوتکنیکی منجر به نمودارهایی جامع شد که فرکانس اساسی طیف گسترده‌ای از ساختمان‌ها را از نظر سختی نسبی سازه-خاک ارائه می‌دهد. نتایج تحقیق انجام شده توسط Prakash و Kumar [۱۲] نشان داد که پریود طبیعی اساسی سیستم خاک-سازه با افزایش مدول برشی خاک به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد. تأثیر در نظر گرفتن رفتار غیرخطی خاک بر پاسخ پریود طبیعی سازه‌ها به سطح کرنش‌های خاک بستگی دارد. هرچه کرنش در خاک بیشتر باشد، اثر غیرخطی بودن خاک بیشتر است. Prakash و Kumar [۱۲] از عوامل ذکر شده در بالا (پریود طبیعی و میرایی) برای استخراج پارامترهای حالت فونداسیون انعطاف‌پذیر استفاده کرده‌اند، که در رویکردهای مبتنی بر پاسخ برای ارزیابی نیروهای برشی پایه و تغییر شکل در سازه‌ها استفاده می‌شوند.

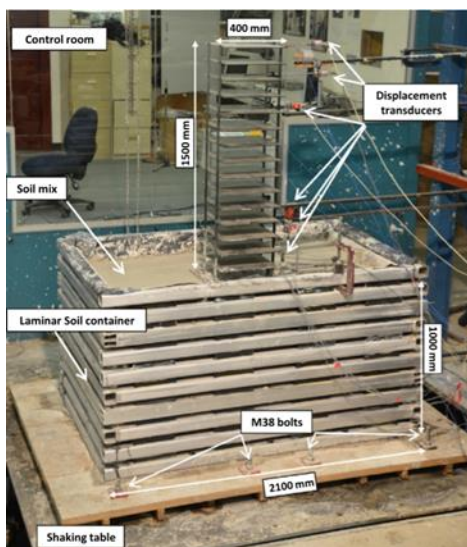
خاک در زیر سازه هنگام وقوع زلزله بر رفتار لرزه‌ای و پاسخ سازه تأثیر می‌گذارد. اگر خاک به اندازه کافی سخت باشد، پاسخ سازه چندان تحت تأثیر شرایط تکیه‌گاه نخواهد بود. بنابراین می‌توان سازه را به عنوان پایه ثابت فرض کرد. اگر خاک فونداسیون انعطاف‌پذیر باشد، بر پاسخ کلی سازه تأثیر می‌گذارد و به طبع آن، اثرات اندرکنش خاک و سازه قابل توجه است. به طور کلی وقتی سرعت موج برشی خاک کمتر از ۶۰۰ متر بر ثانیه باشد، اثرات اندرکنش خاک و سازه قابل توجه است [۱۰].

جلال و نعیمی [۲] یک مطالعه عددی جامع در مورد مقاومت قاب‌های ساختمان ۲۰ طبقه تحت تأثیر اندرکنش خاک و سازه که در طبقات سایت B, C, D, E با توجه به طبقه‌بندی سایت‌های بین‌المللی آیین‌نامه ساختمان [۱۳] انجام دادند. آذر باختی و آشتیانی [۱۴] به منظور ارزیابی اثرات اندرکنش خاک-سازه بر پاسخ لرزه‌ای، یک تجزیه و تحلیل عددی جامع برای طیف گسترده‌ای از قاب‌های ساختمان مقاوم با مهاربند فولادی یا دیوار برشی از سیستم‌های با مقاومت جانبی برای ارزیابی اندرکنش خاک-سازه روی پاسخ لرزه‌ای سازه انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تأثیر SSI در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها طراحی مقرون به صرفه را ارائه می‌دهد. چندین مطالعه گزارش داده‌اند که اندرکنش خاک و سازه می‌تواند جابجایی جانبی و دررفت‌های بین طبقه مربوط به سازه قاب خمشی را افزایش داده و سازه را مجبور به رفتار در دامنه غیر الاستیک می‌کند و منجر به آسیب شدید سازه می‌شود [۲].

اثر اندرکنش خاک و سازه ممکن است در افزایش برش پایه قاب‌های ساختمان کم ارتفاع نقش بسزایی داشته باشد [۱۵]. به هر حال، به دلیل تأثیر اندرکنش خاک-سازه برای ساختمان‌های میان مرتبه و مرتفع، پاسخ لرزه‌ای به‌طور کلی کاهش می‌یابد. جلال و نعیمی [۲] قاب‌های ساختمانی ۶ و ۲۰ طبقه را که در کلاس‌های خاک نرم و سخت بود تحلیل کردند؛ نتایج نشان داد که اثرات SSI بر عملکرد لرزه‌ای سازه قاب خمشی بتنی ۲۰ طبقه، بر روی انواع خاک نرم و متوسط قابل توجه است، در حالی که این اثرات برای خاک‌های سخت و سنگ‌ها ناچیز است. توکلی و همکاران [۱۶] پس از انجام یک مطالعه عددی جامع در مورد ساختمان‌های قاب خمشی، توضیح داد که به‌طور کلی، هرچه خاک زیر سازه نرم‌تر شود، SSI بر انحراف‌های جانبی، دررفت بین طبقات، برش پایه، پی‌بود سازه، اثرات میدان زلزله بیش از پیش تأثیر می‌گذارد. با توجه به نتایج آن‌ها، اهمیت اندرکنش خاک و سازه را می‌توان برای قاب خمشی که روی سنگ یا خاک بسیار سخت قرار گرفته است نادیده گرفت، در حالی که در نظر گرفتن SSI برای سازه‌های قرار گرفته بر خاک نسبتاً نرم ضروری است. مرجع [۱۷] اثر محتوای فرکانسی را بر پاسخ لرزه‌ای رآکتور هسته‌ای در خاک‌های با سرعت موج برشی مختلف مورد بررسی قرار داد؛ نتایج تحقیق نشان داد که در بیشتر موارد، زلزله با فرکانس بالا، حداکثر جابجایی کمتری را در تجزیه و تحلیل‌های خطی ایجاد می‌کند و اگر مقاومت خاک افزایش یابد، میزان اثر فرکانس زلزله در حداکثر جابجایی کاهش می‌یابد. فتاحی و همکاران با انجام مدل‌سازی سازه‌ی ۱۵ طبقه روی شالوده سطحی روی خاک نرم که در مجاورت خاکبرداری سطحی بود، نشان دادند که پاسخ دینامیکی سازه تحت تأثیر شدید فاصله از خاکبرداری سطحی است؛ آنها نشان دادند که جابجایی جانبی سازه به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر فاصله از خاکبرداری است به این صورت که اگر فاصله فونداسیون تا خاکبرداری سطحی نسبت به عمق خاکبرداری کمتر از ۵ باشد این میزان بیشتر است [۱۸]. حکم آبادی و همکاران با استفاده از نتایج نرم افزار flac3d و میز لرزان در آزمایشگاه، با مقایسه سازه‌های ساخته شده با فونداسیون سطحی و گروه شمع روی خاک نرم، نشان داد که حضور شمع باعث کاهش شدید ناشی از اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌شود [۱۹]. یگانه و فتاحی در مرجع با مدل‌سازی سازه‌ی بتنی قاب خمشی ۲۰ طبقه روی خاک به ضخامت ۳۰ متر، اثر مدل‌های رفتاری الاستیک، موهر-کولمب و سخت شوندگی هیپربولیک با میرایی رایله را در پاسخ لرزه‌ای سازه مورد مطالعه قرار دادند؛ آنها نشان دادند که بیشترین مقادیر جابجایی جانبی سازه در اثر زلزله مربوط به حالتی است که خاک با مدل سخت شوندگی هیپربولیک و میرایی هیستریزیس تعریف شود [۲۰]. مرجع [۲۱] نشان داد که قاب‌های ساختمانی با مهاربند دایروی علاوه بر شکل‌پذیری و جذب انرژی ناشی از زلزله، در کاهش کماتش اعضای سازه‌ای تأثیر قابل توجهی دارند و می‌توانند تحمل بار را تا ۲۲/۸۸ درصد افزایش دهند؛ لذا در زمین‌هایی که اندرکنش خاک و سازه بر پاسخ لرزه‌ای سازه تأثیر قابل توجهی داشته باشد، استفاده از این سیستم سودمند است.

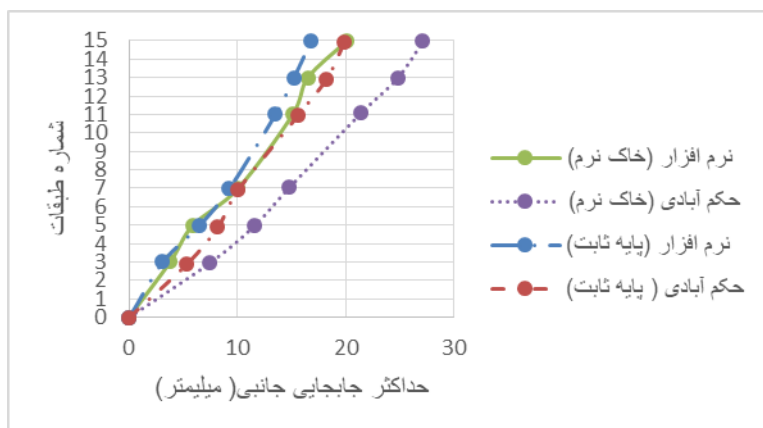
۲- صحت سنجی

برای صحت سنجی این مطالعه از پژوهش آزمایشگاهی انجام شده روی میز لرزان توسط حکم آبدی و همکاران در سال ۲۰۱۴ صورت گرفته بود، استفاده شد [۲۲]. سازه‌ی مورد مطالعه آنها یک سازه‌ی ۱۵ طبقه بر روی ۱ متر فونداسیون سطحی به ابعاد ۱۵*۱۵ و ۳۰ متر خاک نرم با محفظه لایه‌ای تحت اثر زلزله‌ی کوبه مورد آزمایش قرار گرفته است (مدل فیزیکی آنها با مقیاس ۱:۳۰ ساخته شده که در شکل ۱ قابل مشاهده است).



شکل ۱: مدل ساخته شده توسط حکم آبدی و همکاران [۱۹]

نتایج صحت سنجی جابجایی جانبی حاصل از نرم افزار و آزمایش میز لرزان برای مدل‌های با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه تحت اثر زلزله‌ی کوبه، در شکل ۲ قابل مشاهده است. همانطوری که مشاهده می‌شود، تطابق خوبی بین مدل نرم افزاری و آزمایشگاهی دیده می‌شود. اختلافی که بین مقاله مرجع و نتایج نرم افزار وجود دارد می‌تواند ناشی از خطاهای آزمایشگاهی و یا تفاوت محتوای فرکانسی در ایستگاه‌های زلزله‌ی ورودی باشد، چرا که نوع گسل و خاکی که شتابنگار روی آن قرار دارد، می‌تواند روی پاسخ سیستم تاثیر گذارد. شتابنگاشت‌های مورد استفاده در صحت سنجی با توجه به فاصله از مرکز زلزله از سایت peer [۲۳] استخراج شده و سپس با توجه به شتاب حداکثر ذکر شده در مقاله، مقیاس شده است.



شکل ۲: مقایسه مدل آزمایشگاهی و عددی حداکثر جابجایی جانبی طبقات با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه تحت اثر زلزله کوبه

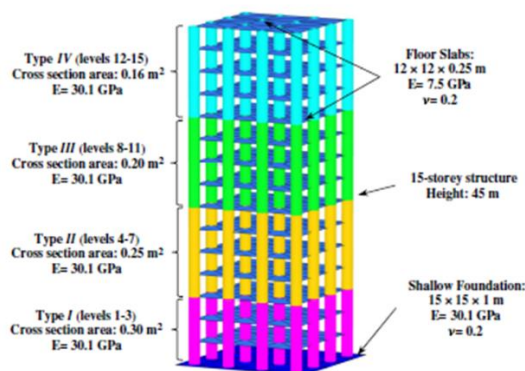
۳- مشخصات مدل‌ها و شرایط مرزی

در این مطالعه یک ساختمان ۱۵ طبقه بتنی با سیستم قاب خمشی و در هر جهت سه دهانه با ارتفاع ۴۵ متر، که در کلان‌شهرها به طور معمول دیده می‌شوند، مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی برای طراحی قاب ساختمانی، در SAP۲۰۰۰ انجام شد. علاوه بر این، ۱ متر ضخامت و ۱۲ متر عرض فونداسیون گسترده مربعی برای مقابله با بارهای استاتیکی و دینامیکی، مشابه سازه‌های معمول مهندسی مدل‌سازی شده است [۲۴].

مشخصات خاک مورد مطالعه در جدول ۱ قابل مشاهده است (فشار سکون خاک برابر ۰/۷۷ در نظر گرفته شد) که بوسیله مدل رفتاری دراکر-پراگر مدل‌سازی شده است. در این مطالعه فرض شده که سطح آب زیر خاک باشد و بنابراین اضافه فشار آب حفره ای در طول زلزله لحاظ نشده است. پارامترهای هندسی و مشخصات مصالح سازه و فونداسیون در شکل ۳ نشان داده شده و همچنین به صورت خلاصه در جداول ۲ و ۳ دیده می‌شوند. همچنین مودهای موثر سازه و خاک و ضرایب میرایی رایلی در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۱: مشخصات خاک‌های مورد مطالعه

نام مدل	چسبندگی (kN/m ²)	ضریب پواسن	V _s (m/s ²)	E(MPa)	Γ(kg/m ³)	K.	ضخامت(متر)	بلوک خاک
H۳۰	۱۰	۰/۴	۱۲۲	۷۵	۱۸۰۰	۰/۷۷	۳۰	۳۰*۲۰۰*۱۲۰
H۴۰	۱۰	۰/۴	۱۲۲	۷۵	۱۸۰۰	۰/۷۷	۴۰	۴۰*۲۰۰*۱۲۰
H۵۰	۱۰	۰/۴	۱۲۲	۷۵	۱۸۰۰	۰/۷۷	۵۰	۵۰*۲۰۰*۱۲۰
H۶۰	۱۰	۰/۴	۱۲۲	۷۵	۱۸۰۰	۰/۷۷	۶۰	۶۰*۲۰۰*۱۲۰



شکل ۳: مشخصات مصالح سازه و فونداسیون مورد مطالعه [۱۸]

جدول ۲: مشخصات ستون‌های بتنی در مدل مورد بررسی

ستون طبقات	EA(Mpa.m ²)	وزن مخصوص (kN/m ³)
۱۵-۱۲	۴۸۱۶	۲۴
۱۱-۸	۶۰۲۰	۲۴
۴-۷	۷۵۲۵	۲۴
۱-۳	۹۰۳۰	۲۴

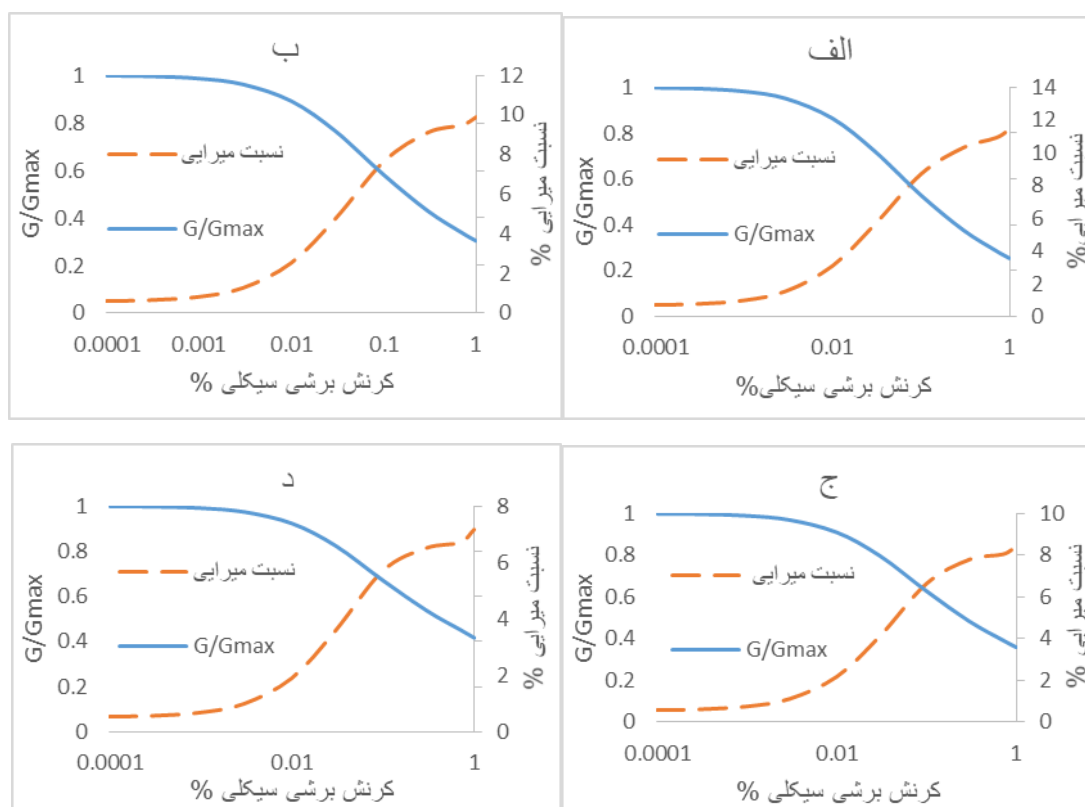
جدول ۳: مشخصات مصالح فونداسیون و کف طبقات

	مدول یانگ (GPa)	مدول برشی (GPa)	وزن مخصوص (kN/m ³)
کف طبقات	۷/۵	۳/۱	۲۴
فونداسیون	۳۰/۱	۱۲/۵	۲۴

جدول ۴: فرکانس و ضرایب میرایی رایله بدست آمده از سازه ۱۵ طبقه بتنی و انواع خاک

نام مدل	V_s	f_i (Hz)	f_r (Hz)	ζ	α	β
H۳۰	۱۲۲	۱/۰۱۷	۳/۰۵	۰/۰۵	۰/۴۷۹۰	۰/۰۰۳۹
H۴۰	۱۲۲	۰/۷۶۲۵	۲/۲۸	۰/۰۵	۰/۳۵۸۸	۰/۰۰۵۲
H۵۰	۱۲۲	۰/۶۱	۱/۸۳	۰/۰۵	۰/۲۸۷۳۱	۰/۰۰۶۵۳
H۶۰	۱۲۲	۰/۵۱	۱/۵۲۵	۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۰۰۷۸
سازه		۰/۸۳	۲/۳۴	۰/۰۵	۰/۳۸۵	۰/۰۰۵

نمودار سختی و میرایی بر حسب کرنش برشی برای خاک مورد مطالعه که از نرم افزار لرزه ای deepsoil و از روش darendeli2001 برای معرفی سختی و میرایی با فرض رفتار غیرخطی خاک استخراج شده و در شکل ۴ مشاهده میشود؛ همچنین فرض شده است که خاک عادی تحکیم یافته (OCR=۱) باشد.



شکل ۴: نمودار میرایی و سختی برای خاک‌های با ضخامت: الف) ۳۰ متر، ب) ۴۰ متر، ج) ۵۰ متر، د) ۶۰ متر، در کرنش‌های برشی سیکی مختلف

۴- روش حل مساله

برای حل مساله از دو گام حل استفاده شده است به اینصورت که ابتدا شرایط ژئواستاتیکی و وزن سیستم در گام اولیه، یعنی گام ژئواستاتیکی، اعمال می‌شوند، سپس بار زلزله به کف خاک مورد نظر اعمال شده است. هر دو گام مذکور در استپ dynamic Implicit و گام‌های زمانی تحلیل برابر با گام زمانی زلزله اعمال شده، انجام گرفت.

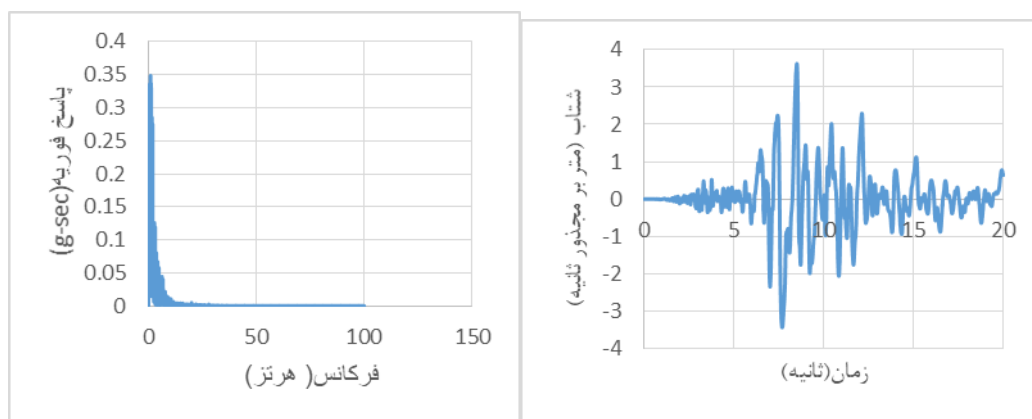
۵- مدلسازی شرایط مرزی:

دو مجموعه شرایط مرزی متفاوت برای تحلیل استاتیکی و دینامیکی استفاده شده است. بار ثقلی در تحلیل استاتیکی اعمال شده است؛ بنابراین، مرز زیرین در تمام جهات مقید شده است، درحالیکه بقیه ۴ مرز تنها در جهت افقی مقید شده‌اند. در تحلیل دینامیکی مرزهای جانبی باید به صورت میدان آزاد حساب شوند [۲۴]. برای تعریف مرزهای جاذب المان‌های میدان آزاد جانبی از المانهای نیمه بی نهایت که باعث عدم برگشت موج‌های زلزله به داخل مدل می‌شوند، در دو جهت X, Y در نظر گرفته شد.

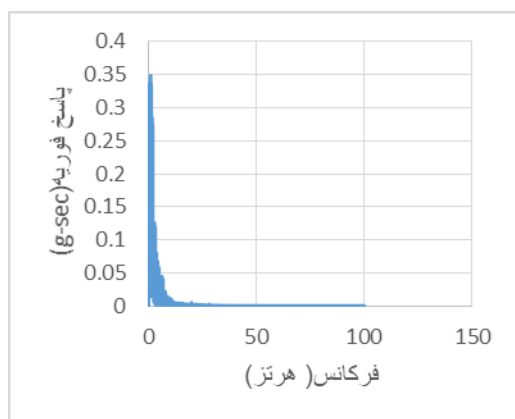
۶- زلزله ورودی:

واضح است که زلزله های قوی می‌توانند آسیب‌های شدیدی را با لحاظ اثر SSI به سازه وارد کنند [۲۵]. بنابراین، از حرکت اندازه‌گیری شده زمین در جهت افقی در طول زلزله‌ی لوماپریتا ۱۹۹۲ با تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی مورد استفاده قرار گرفت.

برای کاهش پیچیدگی تحلیل معمولاً برای حرکت بستر سنگی در این تحقیق فرض شده است که حرکت ورودی به ایستگاه، تقریباً همان حرکت ورودی به بستر سنگی باشد. زلزله در جهت X برای تحلیل اندرکنش لرزه ای خاک-شالوده-سازه اعمال شده است. براساس شکل ۵ شتابنگاشت زلزله های مذکور که از سایت peer [۲۳] برداشت و در نرم افزار seismoSignal استخراج شده، مشاهده می‌شود. طیف شتاب زلزله مذکور در شکل ۶ و پارامترهای اصلی حرکت زلزله در جدول ۵ نشان داده شده اند.



شکل ۵: شتابنگاشت زلزله‌ی لوماپریتا



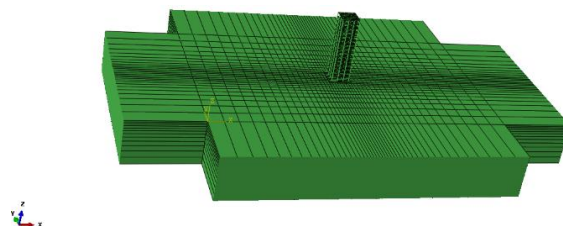
شکل ۶: طیف فوریه حرکت ورودی زلزله‌ی لوماپریتا

جدول ۵: مشخصات زلزله‌ی ورودی

مشخصات	مقادیر	مشخصات	مقادیر
زلزله	لوما پریتا	طبقه بندی معیار	PGA/PGV < 0/8
کشور	آمریکا	محتوای فرکانسی	کم
سال	۱۹۸۹	بزرگ‌الریشتر)	۶/۹۳
PGA(g)	۰/۳۶۹۹	نام ایستگاه	Hollister – South & Pine
PGV	۰/۶۳	فاصله مرکز زلزله از ایستگاه (کیلومتر)	۲۷/۹۳
PGA/PGV	۰/۵۸۷۱	نوع گسل	معکوس مورب

۷- مش بندی

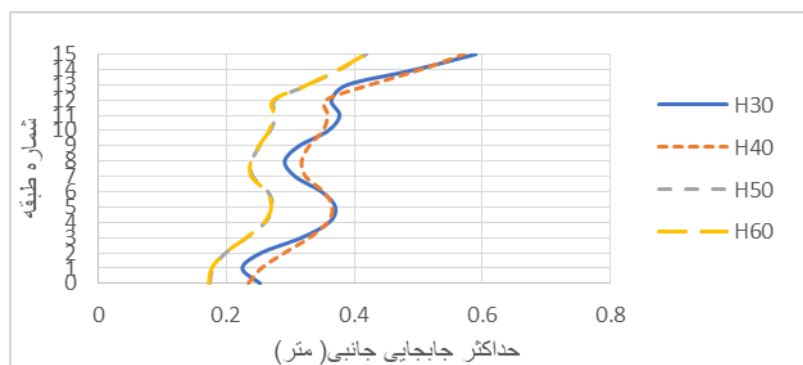
برای مش بندی المان های مربوط به تیر از نوع beam و خطی ۲ گرهی انتخاب شده (B۳۱) ، المانهای کف طبقات از نوع shell و خطی ۴ گرهی با انتگرال گیری کاهش یافته (S۴R) و از تکنیک free و برای بقیه المانهای توپر از المان ۳D stress و حالت خطی ۸ گرهی با انتگرال گیری کاهش یافته و از تکنیک structure استفاده شده است. لازم به ذکر است که تمامی این المانها به شکل هندسی منشوری مدلسازی شده اند. شکل ۷ نشان دهنده مش اعمال شده به سیستم می‌باشد.



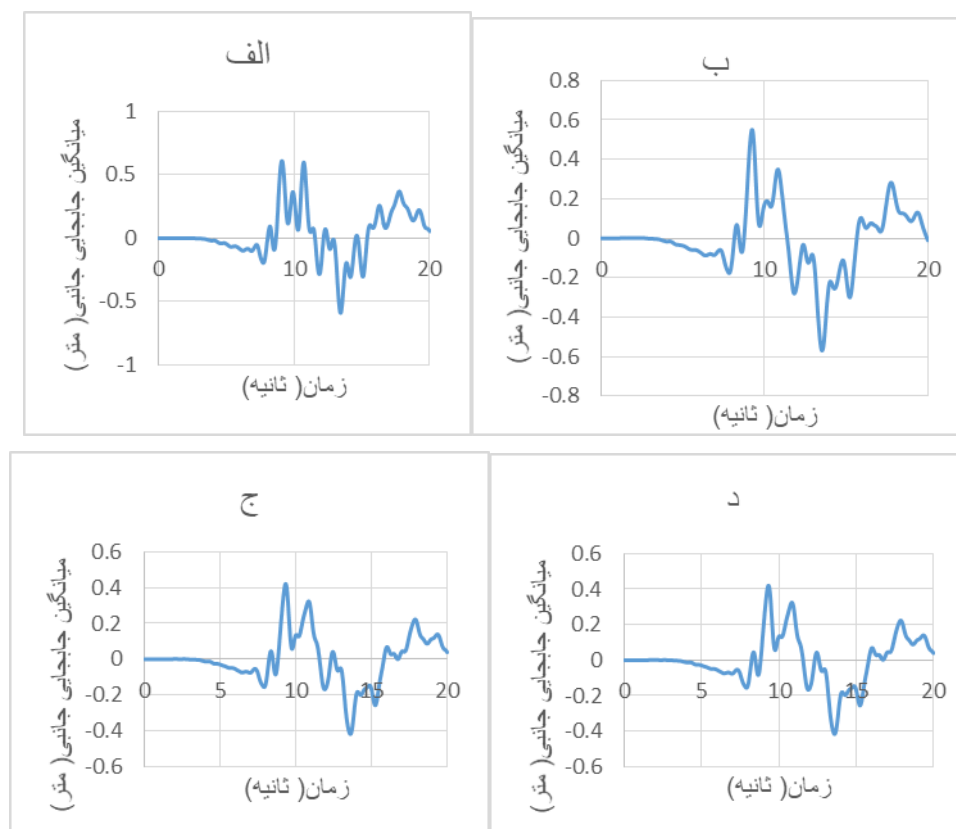
شکل ۷: مش بندی سازه ۱۵ طبقه و خاک با ضخامت ۳۰ متر

۸- بحث و تحلیل نتایج

همانطوری که در اشکال ۸ و ۹ مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت خاک، حداکثر جابجایی جانبی طبقات کاهش می‌یابد. به این صورت که جابجایی جانبی بام با افزایش ضخامت از ۳۰ به ۴۰ متر به اندازه‌ی ۳ درصد، از ۴۰ به ۵۰ متر به اندازه ۲۷ درصد و از ۵۰ به ۶۰ متر به اندازه‌ی ۰/۵ درصد کاهش یافته اند.

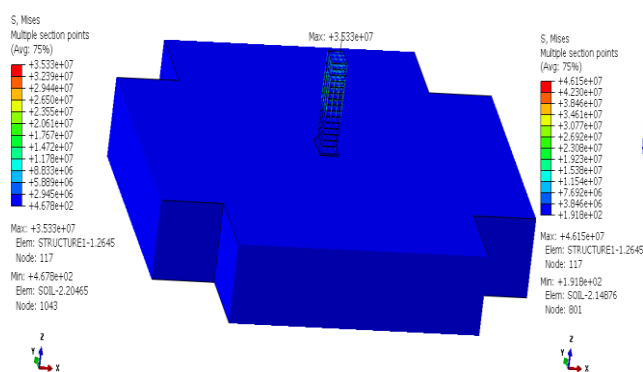


شکل ۸: میانگین حداکثر جابجایی جانبی طبقات سازه در اثر زلزله لوماپریتا در کف طبقات برای خاک‌های با ضخامت ۳۰ الی ۶۰ متر

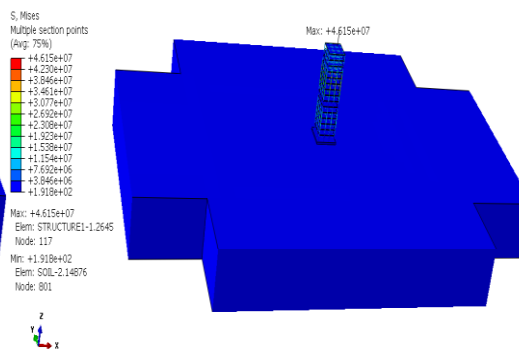


شکل ۹: نمودار تاریخچه زمانی جابجایی جانبی بام برای خاک‌های با ضخامت (الف) ۳۰ متر، (ب) ۴۰ متر، (ج) ۵۰ متر، (د) ۶۰ متر، تحت اثر زلزله لوماپرتا

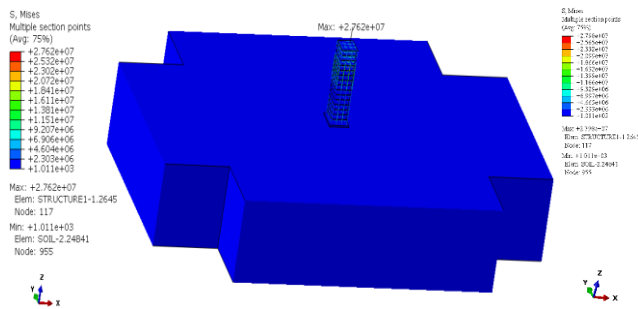
همان‌طوری که در اشکال ۱۰ الی ۱۴ مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت خاک، تنش کاهش یافته است. به این صورت که با افزایش ضخامت خاک از ۳۰ به ۴۰ متر ۲۳ درصد، با افزایش ضخامت خاک از ۴۰ به ۵۰ متر ۲۱ درصد و با افزایش ضخامت از ۵۰ به ۶۰ متر ۱ درصد کاهش در تنش مشاهده می‌شود.



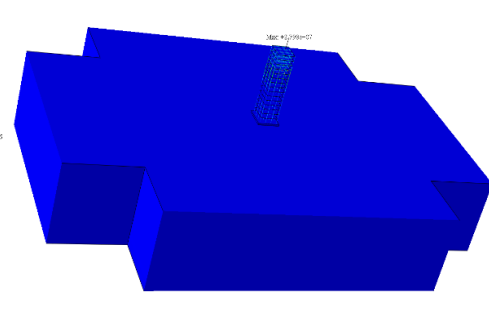
شکل ۱۱: کانتور تنش برای مدل H۴۰



شکل ۱۰: کانتور تنش برای مدل H۳۰

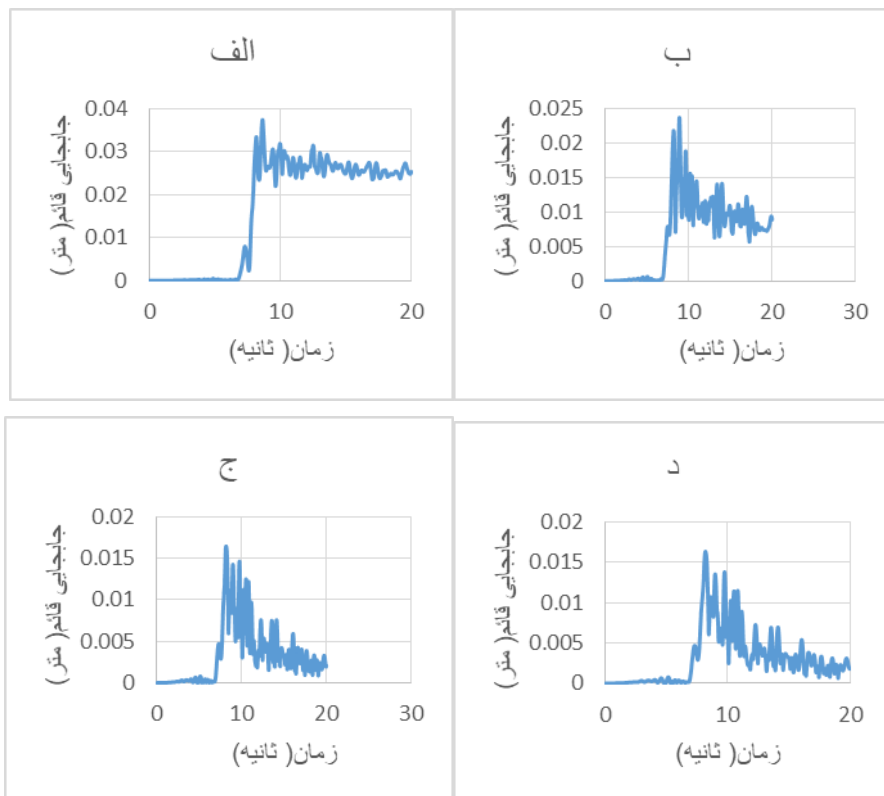


شکل ۱۳: کانتور تنش برای مدل H۶۰



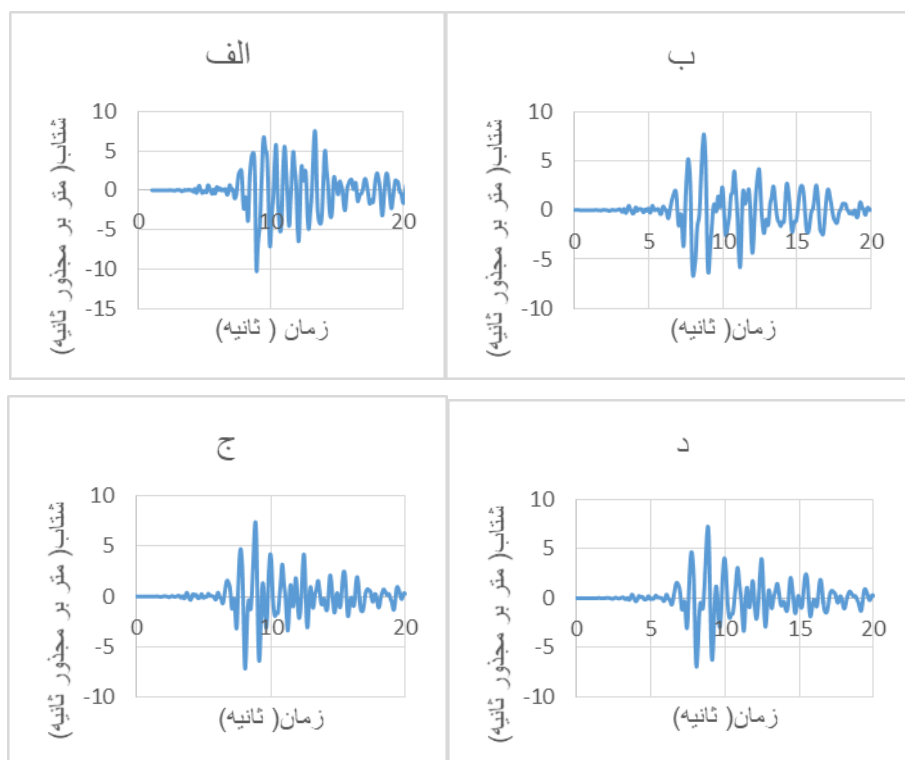
شکل ۱۴: کانتور تنش برای مدل H۵۰

همانطوری که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت خاک، نشست فونداسیون کاهش می‌یابد. به این صورت که در خاک H۴۰ نسبت به H۳۰ به اندازه‌ی ۳۷ درصد، خاک H۵۰ نسبت به H۴۰ به اندازه‌ی ۳۰ درصد، خاک H۶۰ نسبت به H۵۰ به اندازه‌ی کمتر از ۱ درصد کاهش نشست فونداسیون مشاهده شد.



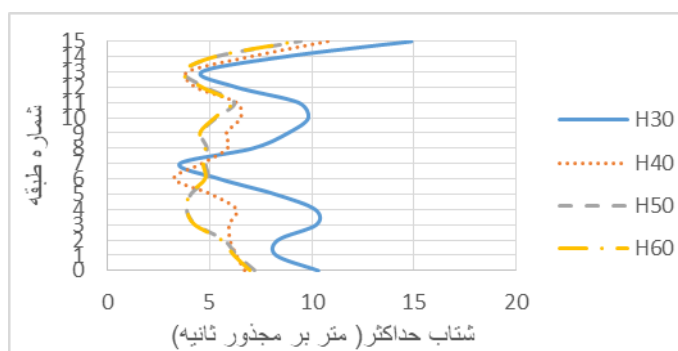
شکل ۱۵: نمودار حداکثر نشست فونداسیون برای خاک‌های با ضخامت: الف) ۳۰ متر، ب) ۴۰ متر، ج) ۵۰ متر، د) ۶۰ متر

همانطوری که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت خاک، شتاب سطح زمین کاهش می‌یابد. به این صورت که این کاهش شتاب سطح زمین از خاک H۳۰ به H۴۰ به اندازه‌ی ۲۵ درصد، از H۴۰ به H۵۰ به اندازه‌ی ۴/۵ درصد و از H۵۰ به H۶۰ به اندازه‌ی ۱/۶ درصد است.

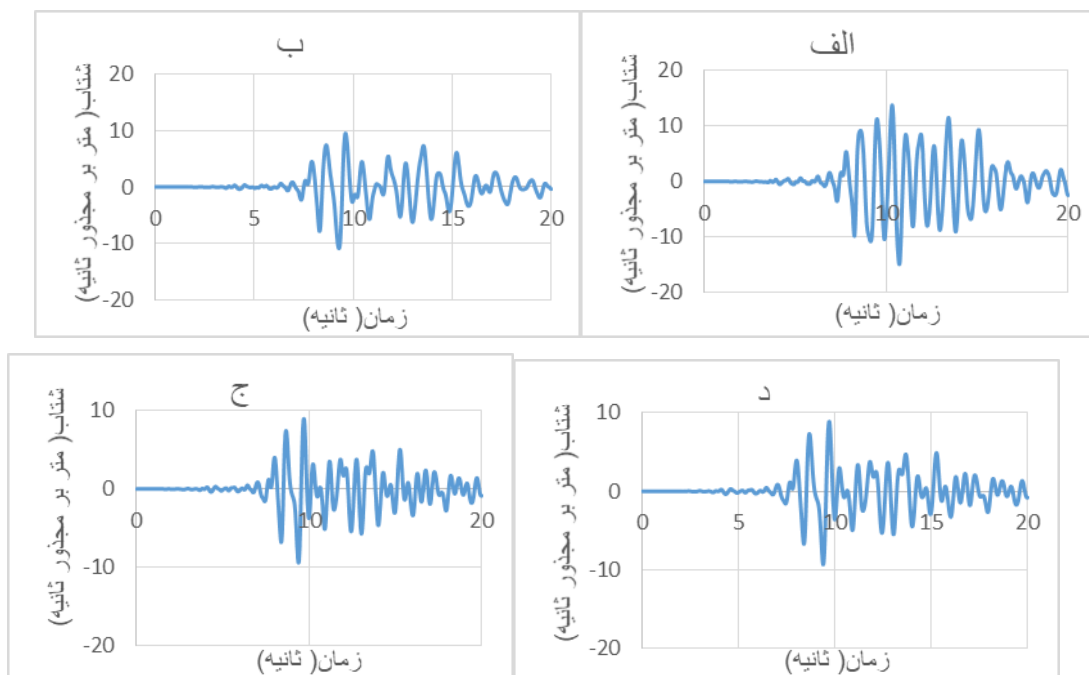


شکل ۱۵: نمودار تاریخچه زمانی شتاب سطح زمین برای خاک‌های با ضخامت: الف) ۳۰ متر، ب) ۴۰ متر، ج) ۵۰ متر، د) ۶۰ متر

همانطوری که در اشکال ۱۶ و ۱۷ مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت خاک شتاب حداکثر بام سازه کاهش می‌یابد. به این صورت که شتاب حداکثر افقی خاک H۴۰ نسبت به H۳۰ به اندازه‌ی ۲۷ درصد، H۵۰ نسبت به H۴۰ به اندازه‌ی ۱۳ درصد و H۶۰ نسبت به H۵۰ به اندازه‌ی ۱/۵ درصد کاهش یافته است.

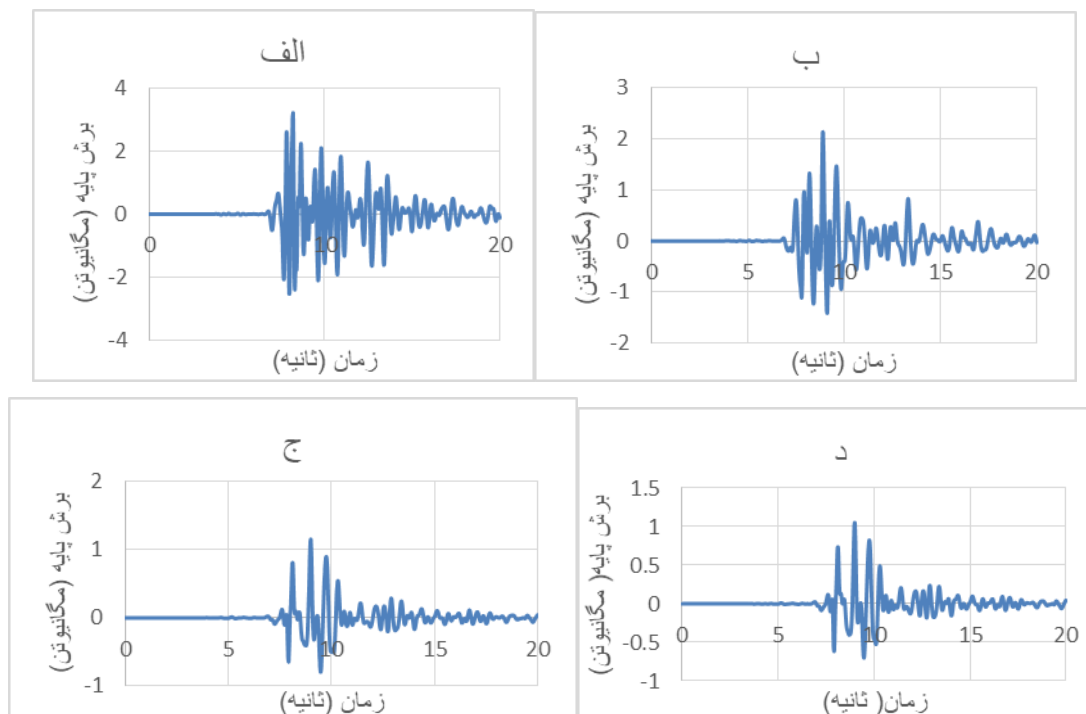


شکل ۱۶: نمودار حداکثر شتاب طبقات برای خاک‌های با ضخامت: الف) ۳۰، ب) ۴۰، ج) ۵۰، د) ۶۰ متر



شکل ۱۷: نمودار تاریخچه زمانی شتاب بام برای خاک‌های با ضخامت: الف) ۳۰ متر، ب) ۴۰ متر، ج) ۵۰ متر، د) ۶۰ متر

همانطور که در نمودارهای برش پایه شکل ۱۸ دیده می‌شود با افزایش ضخامت خاک، برش پایه کاهش می‌یابد. به این صورت که برش پایه در خاک H۴۰ نسبت به H۳۰ به میزان ۶/۳۳ درصد، خاک H۵۰ نسبت به H۴۰ به میزان ۶۴ درصد و خاک H۶۰ نسبت به H۵۰ به میزان ۶۷ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۱۸: نمودار برش پایه برای خاک‌های با ضخامت: الف) ۳۰ متر، ب) ۴۰ متر، ج) ۵۰ متر، د) ۶۰ متر

۹- نتیجه گیری

در این مطالعه با مدلسازی به روش المان محدود در حوزه‌ی زمان و استفاده از حلگر دینامیکی ضمنی، سازه‌ی ۱۵ طبقه قاب خمشی بتنی خاک نرم به ضخامت‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ متر و مدلسازی خصوصیات پلاستیک خاک به روش دراکر- پراگر، اثر ضخامت بلوک خاک نرم بر اندرکنش خاک و سازه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده‌ی این موضوع است که ضخامت خاک نرم تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر پاسخ دینامیکی سازه‌ی ۱۵ طبقه دارد و لزوم تحقیقات ژئوتکنیکی برای بدست آوردن ضخامت بلوک خاک نرم احساس می‌شود. در ادامه به بیان مهمترین نتایج بدست آمده از این مطالعه پرداخته می‌شود:

- با افزایش ضخامت بلوک خاک، حداکثر جابجایی جانبی طبقات کاهش می‌یابد، این کاهش در خاک‌های با ضخامت ۴۰، ۵۰ و ۶۰ متر نسبت به خاک با ضخامت ۳۰ متر به ترتیب برابر با ۳، ۲۹ و ۳۰ درصد می‌باشد؛ بنابراین در پروژه‌های حساس لزوم انجام تحقیقات زمین شناسی جهت مشخص شدن ضخامت خاک در خاک‌های نرم احساس می‌شود. بیش‌ترین تغییرات در جابجایی جانبی بام از خاک با ضخامت ۴۰ متر نسبت به ۵۰ متر اتفاق افتاده است، همچنین کم‌ترین اختلاف جابجایی بین خاک‌های با ضخامت ۵۰ و ۶۰ متر اتفاق افتاده است؛ با افزایش ضخامت خاک، جابجایی حداکثر سازه کمتر شده است، به نظر می‌رسد که دلیل این مساله میرا شدن انرژی زلزله بوسیله خاک است.
- از مقایسه مقادیر کانتورهای تنش نتیجه می‌شود که با افزایش ضخامت بلوک خاک، تنش‌ها در سیستم کاهش می‌یابند؛ کاهش تنش‌ها در سازه‌ی قرار گرفته بر روی خاک با ضخامت ۴۰، ۵۰ و ۶۰ متر نسبت به خاک با ضخامت ۳۰ متر به ترتیب به میزان ۲۳، ۳۹ و ۴۰ درصد می‌باشد؛ مشاهده می‌شود که از ۵۰ به ۶۰ متر تغییرات ناچیزی قابل مشاهده است، در حالی‌که در ضخامت‌های کمتر تغییرات بیش‌تری دیده می‌شود. از خروجی‌ها به نظر می‌رسد که در خاک‌های با ضخامت بیش‌تر ساخت سازه‌های بلندمرتبه معقول‌تر است.
- با افزایش ضخامت بلوک خاک، بلندشدگی فونداسیون کاهش می‌یابد؛ با افزایش ضخامت بلوک خاک در خاک‌های با ضخامت ۴۰، ۵۰ و ۶۰ متر نسبت به خاک با ضخامت ۳۰ متر به ترتیب برابر با ۳۷، ۵۶ و ۵۷ درصد می‌باشد. از مقایسه نمودارها به نظر می‌رسد که خاک‌های با ضخامت ۵۰ متر به بعد نشست کمتری در فونداسیون مشاهده می‌شود.
- با افزایش ضخامت بلوک خاک، شتاب سطح زمین کاهش می‌یابد؛ با افزایش ضخامت بلوک خاک در خاک‌های با ضخامت ۴۰، ۵۰ و ۶۰ متر نسبت به خاک با ضخامت ۳۰ متر، کاهش شتاب سطح زمین به ترتیب برابر با ۲۵، ۲۸ و ۳۰ درصد می‌باشد که کمترین تغییرات در شتاب سطح زمین از بلوک خاک با ضخامت ۶۰ نسبت به ۵۰ متر قابل مشاهده است.
- با افزایش ضخامت بلوک خاک شتاب حداکثر بام سازه کاهش می‌یابد؛ با افزایش ضخامت بلوک خاک در خاک‌های با ضخامت ۴۰، ۵۰ و ۶۰ متر نسبت به خاک با ضخامت ۳۰ متر، کاهش شتاب بام به ترتیب برابر با ۲۷، ۳۶ و ۳۷ درصد می‌باشد.
- با افزایش ضخامت بلوک خاک برش‌پایه سازه کاهش می‌یابد؛ با افزایش ضخامت بلوک خاک در خاک‌های با ضخامت ۴۰، ۵۰ و ۶۰ متر نسبت به خاک با ضخامت ۳۰ متر، کاهش برش پایه به ترتیب برابر با ۳۴، ۶۴ و ۶۷ درصد می‌باشد.

۱۰-مراجع

- [1] Gazetas, G. & Mylonakis, G. 1998, 'Seismic Soil-Structure Interaction: New Evidence and Emerging Issues', Geotechnical Special Publication 75, Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, pp. 1119-1174.
- [2] Galal, K. & Naimi, M. 2008, 'Effect of conditions on the Response of Reinforced Concrete Tall Structures to Near Fault Earthquakes', The Structural Design of Tall and Special Buildings, vol. 17, no. 5, pp. 541-562.
- [3] Wolf, J.P. & Deeks, A.J. 2004, Foundation Vibration Analysis: A Strength-of-Materials Approach, Elsevier: Oxford, UK.
- [4] Stewart, J.P., Seed, R.B. & Fenves, G.L. 1998, Empirical Evaluation of Inertial Soil- Structure Interaction Effects, PEER-1998/07, Pacific Earthquake Engineering Research Centre, University of California, Berkeley.
- [5] Wolf, J. 1994, Foundation Vibration Analysis Using Simple Physical Models, Prentice Hall Co, New Jersey.
- [6] Chopra, A.K. & Gutierrez, J.A. 1978, 'A Substructure Method for Earthquake Analysis of structures Including Structure-Soil Interaction', Earthquake Engineering & Structural Dynamics, vol. 6, no. 1, pp. 51-69.
- [7] Dutta, C.H. & Roy, R. 2002, 'A Critical Review on Idealization and Modelling for Interaction Among Soil-Foundation-Structure System', Computers and Structures, vol. 80, no. 3, pp. 1579-1594.
- [8] Wolf, J. 1998, Soil-Structure Interaction Analysis in Time Domain, Prentice Hall Co, New Jersey.
- [9] Carr, A.J. 2008, Soil-Structure Interaction, Advanced nonlinear seismic structural analysis notes, Pavia.
- [10] Veletsos, A.S. & Meek, J.W. 1974, 'Dynamic Behaviour of Building-Foundation System', Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 3, no. 2, pp. 121-38.
- [11] Veletsos, A.S. & Prasad, A.M. 1989, 'Seismic Interaction of Structures and Soils: Stochastic Approach', Journal of Structural Engineering, ASCE, vol. 115, no. 4, pp. 935-956.
- [12] Kumar, S. & Prakash, S.H. 1998, 'Effect of Soil Nonlinearity on Natural Frequency Response of Structures', Proceedings of the 6th U.S Conference on Earthquake Engineering, EEIR.
- [13] IBC 2012, International Building Code, International Code Council (ICC).
- [14] Azarbakht, A. & Ashtiany, M.Gh. 2008, 'Influence of the Soil-Structure Interaction on the Design of Steel-Braced Building Foundation', 2008 Seismic Engineering: Commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake, Conference AIP Conference Proceedings, vol. 1020, pp. 595-601.
- [15] Dutta, C.H., Bhattacharya, K. & Roy, R. 2004, 'Response of Low-rise Buildings under Seismic Ground Excitation Incorporating Soil-Structure Interaction', Soil Dynamic and Earthquake Engineering, vol. 24, no. 9, pp. 893-914.
- [16] Tavakoli, H.R., Naeef, M. & Salari, A. 2011, 'Response of RC Structures Subjected to Near Fault and Far Fault Earthquake Motions Considering Soil-Structure Interaction', International Journal of Civil and Structural Engineering, vol. 1, no. 4, pp. 881-896.
- [17] Dong Van Nguyena, Dookie Kima, Duan Duy Nguyenb. 2020, 'Nonlinear seismic soil-structure interaction analysis of nuclear reactor building considering the effect of earthquake frequency content.' Structures 26 (2020) 901-914
- [18] Behzad Fatahi, Bohan Huang, Navid Yeganeh, Sergei Terzaghi. 2020. 'Three-Dimensional Simulation of Seismic Slope-Foundation-Structure Interaction for Buildings Near Shallow Slopes' Int. J. Geomech., 2020, 20(1): 04019140
- [19] Aslan S. Hokmabadi, Behzad Fatahi, Bijan Samali. 2014. 'Assessment of soil-pile-structure interaction influencing seismic response of mid-rise buildings sitting on floating pile foundations.' Computers and Geotechnics 55 (2014) 172-186
- [20] Navid Yeganeh, Behzad Fatahi. 2019. effects of choice of soil constitutive model on seismic performance of moment-resisting frames experiencing foundation rocking subjected to nearfield earthquakes', Soil Dynamics and Earthquake Engineering 121 (2019) 442-459
- [21] PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center). 2017. Tall building initiative: Guidelines for performance-based seismic design of tall buildings. TBI 2017. San Diego: PEER.
- [22] Maryam Boostani, Omid Rezaifar, Majid Gholhaki. 2019. 'Seismic performance investigation of new lateral bracing system called "OGrid-H".' Springer Nature Switzerland AG 2019.
- [23] Bowles, J. E. 2001. Foundation analysis and design. New York: McGraw-Hill.
- [24] Kramer, S.L. 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall civil engineering and engineering mechanics series, ISBN 0-13-374943-6.
- [25] Mizuno, H., M. Iiba, and T. Hirade. 1996. "Pile damage during the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake in Japan." In Proc., 11th World Conf. on Earth. Eng. Oxford, UK: Pergamon.